



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

OFF-GRID DOMY

OFF-GRID HOMES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Plhal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Matěj Plhal**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Off-grid domy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Decentralizace je jedním ze současných trendů energetiky. Smart-grid a Off-grid systémy, které pracují samostatně, nebo jsou chytře propojeny snižují zátěž přenosové soustavy, ale také mění chování spotřebitelů. Bakalářská práce je zaměřena na seznámení s technologiemi, které jsou v takovýchto ostrovních systémech či samostatných domácnostech instalovány.

Cíle bakalářské práce:

- popis principu ostrovních systémů,
- popis technologií využívaných v ostrovních systémech.

Seznam doporučené literatury:

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha. Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje princip off-grid domů. Zaměřuje se na technologické řešení kvalitního bydlení i bez připojení k inženýrským sítím. Konkrétně seznamuje s vhodnými zdroji energie, možnostmi vytápění a vodním hospodářstvím. Praktická část práce se zabývá energetickým návrhem off-grid domu.

Klíčová slova

Off-grid, ostrovní, soběstačný, obnovitelné zdroje energie, vytápění, vodní hospodářství, ohřev vody

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the principle of off-grid houses. It focuses on technological solutions of high-quality housing even without connection to public utilities. Primarily, it depicts suitable energy sources, heating options and water management. The practical part of thesis deals with the energy design of an off-grid home.

Keywords

Off-grid, off the grid, self-sufficient, renewable energy, heating, water management, water heating

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLHAL, Matěj. *Off-grid domy*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132744>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Marek Baláš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Off-grid domy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

16. května 2021

Matěj Plhal

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval své přítelkyni, rodině a blízkým, kteří mi byli oporou po dobu celého studia. Poděkování také patří vedoucímu práce panu doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D., který poskytl cenné poznatky potřebné pro vypracování bakalářské práce.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD..... | 10 |
| 1 Off-grid domy..... | 11 |
| 1.1 Minulost, současnost a budoucnost | 11 |
| 1.2 Zapojení off-grid systému..... | 12 |
| 1.3 Další typy systémů produkující vlastní elektrickou energii..... | 14 |
| 1.3.1 On-grid | 14 |
| 1.3.2 Hybrid-grid..... | 14 |
| 2 Výroba a akumulace elektrické energie..... | 15 |
| 2.1 Fotovoltaický systém | 15 |
| 2.2 Větrná elektrárna..... | 16 |
| 2.3 Vodní elektrárna | 17 |
| 2.4 Baterie | 18 |
| 2.4.1 Baterie na bázi olova..... | 19 |
| 2.4.2 Baterie na bázi lithia..... | 19 |
| 2.5 Regulátor dobíjení..... | 19 |
| 3 Zajištění tepla | 20 |
| 3.1 Solární termické systémy | 20 |
| 3.2 Tepelná čerpadla | 21 |
| 3.3 Kotle, kamna a krby | 22 |
| 3.4 Konstrukce domu | 22 |
| 4 Hospodaření s vodou | 25 |
| 4.1 Zdroje a rozvod vody | 25 |
| 4.2 Úprava vody..... | 25 |
| 4.3 Likvidace a recyklace odpadních vod..... | 26 |
| 5 Energetický návrh off-grid domu | 27 |
| 5.1 Spotřeba elektrické energie..... | 27 |
| 5.2 Zajištění elektrické energie | 28 |
| 5.2.1 Lokalita..... | 28 |
| 5.2.2 Dimenzování zdrojů elektrické energie..... | 29 |
| 5.2.3 Dimenzování baterií | 30 |
| 5.3 Systém vytápění a ohřevu vody | 31 |
| 5.3.1 Vytápění | 31 |
| 5.3.2 Ohřev vody..... | 32 |
| 5.3.3 Řešení celkové roční potřeby tepla | 32 |
| ZÁVĚR..... | 34 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ..... | 35 |

ÚVOD

Pojmem off-grid můžeme označit domy, které pro svůj chod nevyžadují přísun elektřiny, tepla či vody z veřejné sítě. Takové domy mohou být oproštěné od připojení k inženýrským sítím, neboť i bez nich zajistí dostatečný komfort bydlení. Odpojením od sítě roste volnost v umístění domů, které tím pádem mohou být postaveny i mimo vybudovanou infrastrukturu. Nezávislosti na připojení k sítím odpovídá i český až metaforický název *ostrovní* domy, který mimo jiné odkazuje i na izolovanost a soběstačnost těchto objektů. Takto izolované nemusí být jen domy, ale klidně i malé komunity a celé vesnice, se kterými se lze nejčastěji setkat na odlehlých místech právě mimo vybudovanou infrastrukturu, kam by bylo nepřiměřeně nákladné zřídít přípojky k inženýrským sítím.

K zachování standardu bydlení odpovídajícímu nynější době se v domech instalují moderní systémy, které zajistí dostatek elektřiny, tepla i vody přímo na místě. Jsou to zejména systémy, které využívají obnovitelné zdroje energie, mezi které patří energie slunečního záření, větru, vody a biomasy. Užitím obnovitelné energie a celkovým šetrným smýšlením a životním stylem obyvatel ostrovních domů se soběstačné bydlení jeví jako příznivé k životnímu prostředí. Tato závěrečná práce si klade za cíl seznámit s myšlenkou bydlení off-grid a se systémy vhodnými pro domy nepřipojené k sítím. Teoretická část je doplněna praktickým výpočtem energetické bilance domu.

1 Off-grid domy

1.1 Minulost, současnost a budoucnost

Bydlet mimo síť není ničím novým, po většinu historie lidstva byla lidská obydlí roztroušena v malých soběstačných komunitách poblíž zdroje vody a obživy. Až v posledních staletích se tento trend začal měnit a urbanizací docházelo k hromadění obyvatel ve městech. S tím se postupně zvyšovala životní úroveň, právě díky elektrifikaci a dostupnosti ostatních sítí [1]. V hustě obydlených městech se však objevila i negativa, jako je zvětšující se znečištění ovzduší a přírody nebo přelidnění. Tyto problémy mohly a stále mohou za přesun některých lidí zpátky do přírody a k soběstačnému a nezávislému životu mimo civilizaci v off-grid domech.

Jako průkopník ostrovních a soběstačných domů se dá považovat architekt Michael Reynolds, který během energetické krize v 70. letech minulého století přišel s nápadem Earthships (v českém překladu Zemělodě), viz obr 1.1. Jedná se o stavby, pro které je typické využití odpadu jako stavebního materiálu, v konstrukci jsou umístěné pneumatiky, skleněné láhve či plechovky. Jižní část domu je prosklená pro pasivní zisk tepelné energie ze Slunce, zbylá část domu je vybudována ve svahu, nebo alespoň pokryta hlínou, aby se zvýšila akumulární schopnost stavby. Elektřina je zajišťována solárními panely nebo větrnou turbínou. Každá Earthship obsahuje cisternu navrhnutou pro zachyt dešťové vody, která je filtrována a následně využita. V tomto designu již bylo postaveno přes 3000 Zemělodí po celém světě, většina však ve Spojených státech amerických [2].



Obr. 1.1: Earthship v Novém Mexiku [2]

Ne všechny off-grid domy musí vypadat jako Earthship, ostrovní domy mohou být postaveny k nerozeznání od domů připojených k síti. Základní princip ale stále spočívá v soběstačnosti zajištění elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů. Příkladem je projekt *Český soběstačný dům* popularizátora off-grid bydlení Pavla Podruha, dům je aktuálně ve výstavbě poblíž Lipna nad Vltavou (obr. 1.2). Zdrojem elektřiny jsou fotovoltaické panely zabudované v celé ploše jižní části sedlové střechy. Vytápění a ohřev vody je řešen kotlem na pelety se Stirlingovým motorem, schopným pomocí teplotní difference vyrábět elektřinu, v období s dostatkem slunečního svitu bude možno vodu ohřívat elektrickou energií z fotovoltaických panelů [3].

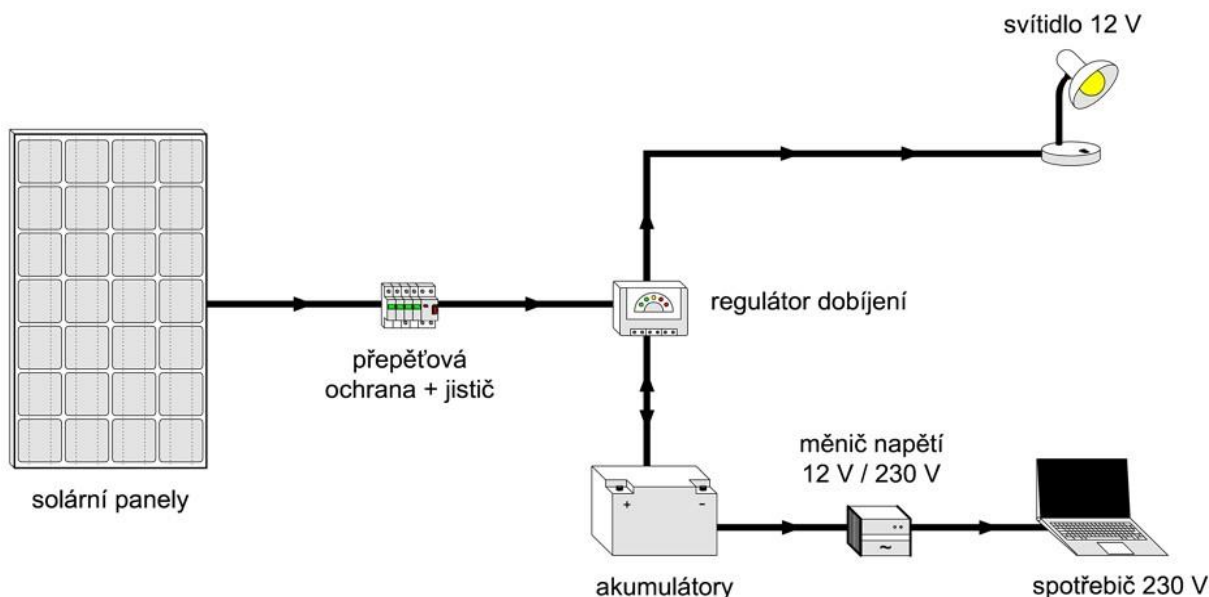


Obr. 1.2: Český soběstačný dům [4]

Ostrovní systémy se kromě napájení off-grid domů jeví jako nejlepší a nejlevnější možnost elektrifikace venkovských oblastí v afrických státech, kde je bez elektřiny až 800 milionů lidí [5]. I v rozvinutém světě se stává decentralizovaná výroba energie moderní a díky stále klesající ceně solárních panelů a zájmům o udržitelné bydlení se dá do budoucna předpokládat větší zastoupení lidí žijících v off-grid domech.

1.2 Zapojení off-grid systému

Mezi základní složky ostrovních systémů patří zdroj energie a bateriové úložiště, jenž je schopno elektrickou energii akumulovat. Výroba elektřiny je nejčastěji zastoupena obnovitelnými zdroji energie. V modelovém schématu zapojení ostrovního systému (obr. 1.3) to jsou solární panely. Řízení parametrů vyráběné elektrické energie a optimální průběh nabíjení akumulátorů má na starost regulátor dobíjení, který také poskytuje bezpečnostní funkce zabráňující podbití nebo naopak přebití baterie. K regulátoru dále mohou být připojeny spotřebiče fungující na stejnosměrný proud. Jako nadstavba ostrovních systémů pracujících pouze se stejnosměrným proudem se využívá měnič napětí neboli střídač, který umožní zapojení klasických spotřebičů na střídavý proud o napětí 230 V. Výkon střídače by měl s dostatečnou rezervou odpovídat součtu příkonů napájených zařízení [6].



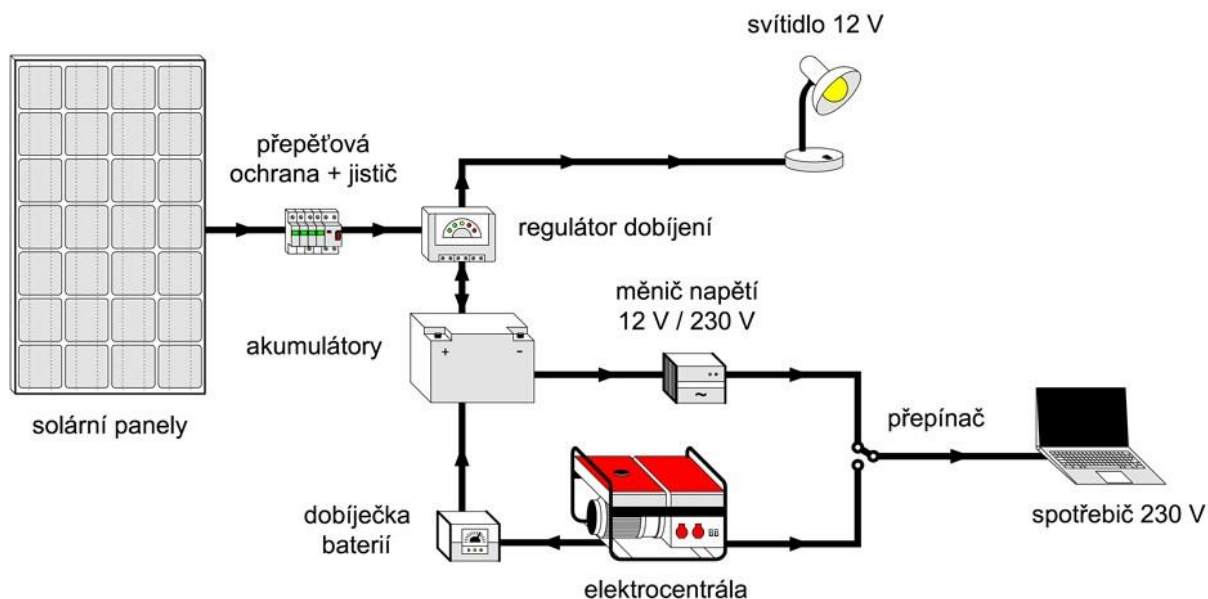
Obr. 1.3: Schéma zapojení ostrovního systému [6]

Před pořízením celé sestavy je vhodné zvolit hodnotu systémového napětí, kterému musí odpovídat regulátor dobíjení a připojené spotřebiče. Velikost systémového napětí je určena odpovídajícím zapojením akumulátorů. Standardní hodnoty systémového napětí jsou 12 V, 24 V a 48 V. Obecně platí, že u větších off-grid systémů se volí vyšší systémové napětí – pro nejmenší systémy postačí 12 V, u větších je pak výhodné volit 24 V respektive 48 V. Vyšší napětí dovoluje nabíjet a vybíjet baterie nižším proudem, díky čemuž klesají nároky na jistící prvky [6].

U celoročního provozu off-grid domu může nastat situace, při které budou obnovitelné zdroje energie vyrábět nedostatečné množství elektřiny. V případě využití solárních panelů to mohou být krátké a tmavé dny zimních měsíců. Řešením těchto krizových stavů obvykle bývá zapojení záložního zdroje elektrické energie – elektrocentrály. Elektrocentrála vyrábí spalováním paliva¹ střídavý proud, který je využíván k dobíjení akumulátorů a napájení spotřebičů. Energie je akumulována prostřednictvím dobíječky baterií, která transformuje střídavý proud na stejnosměrný. Pro přímé napájení centrálou je nutno spotřebiče oddělit přepínačem od zbytku ostrovního systému, viz obr. 1.4 [6]. Pro napájení přístrojů citlivých na kolísání napětí (počítače, jemná elektronika) je dobré vybírat elektrocentrály s automatickou regulací napětí AVR². Při umístění elektrocentrály se musí brát zřetel na to, že pro práci spalovacího motoru je kromě paliva nutné zajistit přísuv vzduchu a odvod zplodin [7].

¹ Používanými palivy může být benzín, nafta nebo plyn.

² Automatic Voltage Regulator [7]



Obr. 1.4: Schéma zapojení ostrovního systému s elektrocentrálou [6]

Nejjednodušší off-grid systémy můžeme najít na dopravních značkách, složitější potom napájí budovy nebo celé vesnice v odlehlých oblastech, kam není zavedena elektřina [6]. Také najdou uplatnění u pojízdných objektů určených k rekreaci. Pro obytné karavany nebo lodě jsou jedinou trvalou možností zajištění elektřiny. Pokud jsou využívány jen v létě, odpadá nutnost předimenzování na zimu.

1.3 Další typy systémů produkující vlastní elektrickou energii

Mezníkem v cestě k energetické nezávislosti off-grid domů jsou domy produkující vlastní energii s připojením k elektrické síti. Podle stupně závislosti na rozvodné síti a schopnosti akumulace energie můžeme tyto domy a využívané systémy rozdělit do dvou kategorií – on-grid a hybrid-grid.

1.3.1 On-grid

On-grid (síťové) systémy jsou, jak již název napovídá, připojeny k elektrické síti. Takto zapojené domy neobsahují bateriové úložiště, kam by se vyráběná elektřina mohla akumulovat. V případě, že výroba vlastní elektrické energie přesahuje spotřebu jsou přebytky dodány do distribuční soustavy, kde jsou odkoupeny distributorem elektřiny. Další možností využití přebytků je ohřev vody. Výhodou systémů připojených k elektrické síti je možnost čerpání energie z rozvodné sítě, díky tomu lze bez omezení provozovat výkonné spotřebiče [8].

1.3.2 Hybrid-grid

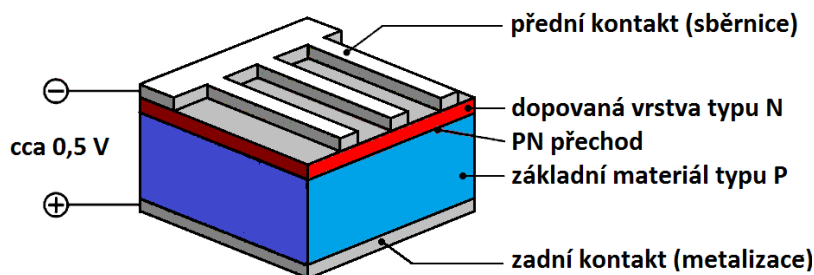
Hybridní systém kombinuje přednosti výše uvedených typů zapojení. Tento systém je kromě připojení k elektrické síti vybaven bateriovým úložištěm. V případě využití solárních panelů se během dne přebytky energie akumulují a v noci nebo při nedostatečném záření spotřebovávají. Při vyšší spotřebě a vybití baterie pod stanovenou mez je energie pomocí hybridního střídače dobírána přímo ze sítě. Tento systém se v mnohém podobá ostrovnímu a oproti síťovému může být provozován i při výpadku dodávky elektřiny [8].

2 Výroba a akumulace elektrické energie

Dostatek elektřiny v průběhu dne je stěžejní pro komfort obyvatel a chod off-grid domu. Z podstaty věci nelze čerpat energii z rozvodné sítě a dům si ji tak musí zajistit sám. Řešením ostrovní výroby elektřiny jsou obnovitelné zdroje energie – energie slunečního záření, větru, vody – všudypřítomné zdroje, které díky technologiím umíme zachytit a využít. Takto vyráběná elektřina neznečišťuje životní prostředí a neemituje diskutovaný oxid uhličitý, její nevýhodou je však časově proměnná dostupnost. Výkyvy musí být vyrovnány bateriovým úložištěm, které akumuluje nebo poskytuje energii v případě, že aktuální výroba nepřevyšuje spotřebu. Tato kapitola shrnuje možnosti výroby a akumulace elektrické energie v off-grid domech.

2.1 Fotovoltaický systém

Fotovoltaický systém se používá k zachycení energie Slunce. Jeho základním prvkem je fotovoltaický (solární) článek, což je v podstatě polovodičová (nejčastěji křemíková) dioda schopná pomocí fotoelektrického jevu přeměňovat energii dopadajícího světla na energii elektrickou. Je složen ze dvou polovodičových vrstev typu P a N oddělených tzv. P-N přechodem, na kterém se při ozáření vytvoří elektrické napětí o velikosti přibližně 0,5 V. Je-li zadní a přední kontakt osvětleného článku připojen k obvodu začne jím procházet stejnosměrný proud, viz obr. 2.1. Velikost proudu je úměrná k ploše článku a intenzitě slunečního záření [9].



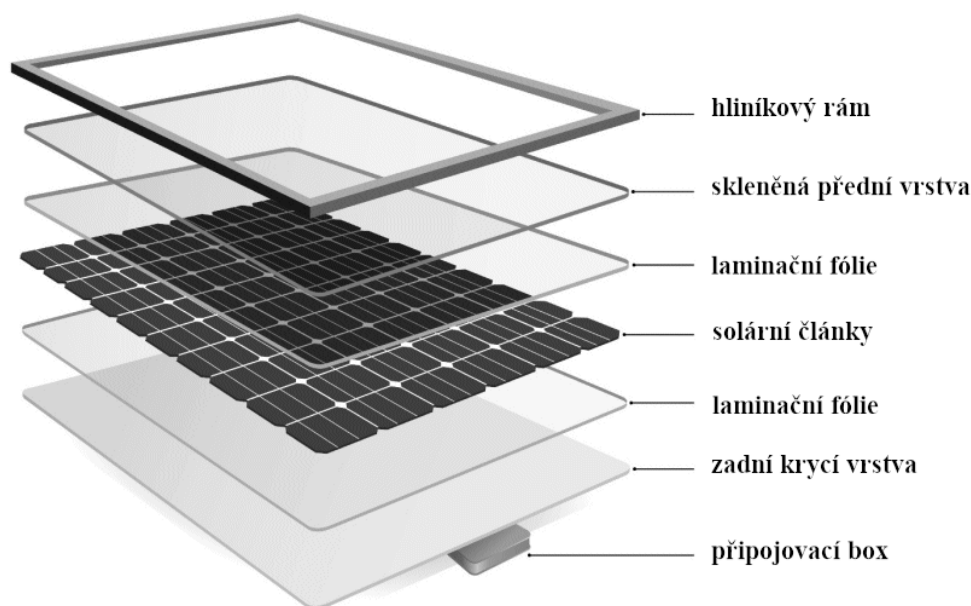
Obr. 2.1: Schéma struktury fotovoltaického článku z krystalického křemíku [10]

Pro větší hodnotu napětí a proudu se jednotlivé články zapojují do fotovoltaického (solárního) panelu. Solární panel poskytuje křehkým článkům odolnost při montáži a proti povětrnostním vlivům. Přední stranu směřující ke Slunci obvykle tvoří skleněná vrstva, která musí být schopna propouštět využitelnou část slunečního záření. Další vrstvou přímo sousedící s fotovoltaickými články je laminační fólie³. Zadní stranu panelu kryje plastová, či v některých případech skleněná vrstva a celková integrita je dosažena hliníkovým rámem. Elektřina je vyvedena do připojovacího boxu [10]. Složení solárního panelu je znázorněno na obr. 2.2.

Účinnost přeměny dopadajícího záření na elektřinu u aktuálně prodáváných solárních panelů dosahuje 22 %. Tato hodnota při reálném použití klesá např. s rostoucí teplotou panelu a jeho stářím [11]. Udávaná životnost, po které účinnost klesne na určitou mez⁴ je 20 až 30 let [9]. Ideální celoroční orientace panelu v České republice je na jih pod sklonem 35°. Pozornost při umístění musí být věnována i částečnému zastínění panelu, který způsobí ztrátu výkonu [12].

³ Materiálem laminační fólie bývá EVA (ethylenvinylacetát) [10].

⁴ Výrobci obvykle garantují 80% účinnost po 25 letech [11].



Obr. 2.2: Složení solárního panelu [13]

Fotovoltaické systémy jsou oblíbenou a často využívanou možností zajištění elektřiny v off-grid domech. Popularitu získaly zejména vysokou spolehlivostí a svým bezobslužným a bezhlučným provozem. Solární panely se stále zdokonalují – s technologickým pokrokem klesá jejich cena a roste účinnost [9].

2.2 Větrná elektrárna

Energie větru byla využívána již v dobách minulých – vítr poháněl lodě, mlýny nebo čerpal podzemní vodu. Nyní se kinetická energie větru využívá také, a to ve větrných elektrárnách k přeměně na energii elektrickou. Standardní větrné elektrárny s horizontální osou rotace se skládají ze svisle umístěného tubusu, na jehož vrcholu je umístěna otočná gondola. Gondola obsahuje elektrický generátor, který je přes převodovku propojen s rotorem. K rotoru jsou připojeny vhodně tvarované lopatky (nejčastěji 3) roztáčené proudícím vzduchem. Gondola a lopatky bývají v závislosti na změně větrných podmínek schopné natáčení – pro dosažení maximálních výkonů nebo naopak bezpečného odstavení [14].

Rychlost větru v ose rotoru je pro plánování větrné elektrárny zásadní, neboť se při výpočtu výkonu vyskytuje ve třetí mocnině. Z tohoto důvodu jsou rotory elektráren umístěny ve výškách i přes 100 metrů nad povrchem, kde je rychlost větru větší. Minimální rychlost pro roztočení rotoru je 2 až 5 m/s, s dále zvyšující se rychlostí větru roste i výkon elektrárny, přičemž při 10 až 14 m/s dosahuje výkon maxima a již se nezvyšuje. Při rychlostech 20 až 25 m/s se z bezpečnostního hlediska rotor zastaví pomocí brzd a vhodného natočení lopatek a gondoly. Efektivitu využití energie větru udává Betzovo pravidlo, které určuje, že maximální účinnost větrné turbíny je 59,3 %. U reálných turbín dosahujeme hodnot mezi 70 až 80 % limitu z Betzova pravidla [14].

Větrné elektrárny vhodné pro ostrovní provoz v off-grid domech jsou malých rozměrů s výkonem v jednotkách kW. Oproti klasickým elektrárnám, u kterých převládá horizontální osa rotace, se u těchto mikro větrných elektráren dá setkat i s osou vertikální, viz obr. 2.3. Vertikální rotory nepotřebují oproti horizontálním směrové natáčení proti větru, avšak jejich účinnost dána Betzovým pravidlem je nižší [15]. Větrnou elektrárnu je vhodné umístit na co nej-

vyšším možném místě mimo okolní překážky, jako mohou být stromy nebo zástavba. Nevýhodou větrných elektráren je jejich hlučný provoz, nutná údržba a pro někoho nevzhledný zásah do krajiny.



Obr. 2.3: Větrné elektrárny s vertikální (vlevo) a horizontální (vpravo) osou rotace napájející základnu na Antarktidě [15]

2.3 Vodní elektrárna

Energie proudící vody našla obdobně jako energie větru hojné využití i v minulosti např. pro pohon mlýnského kola na řece. Dnes se energie vody používá k roztáčení soustrojí turbíny a generátoru pro výrobu elektřiny ve vodní elektrárně. Principem je využití kinetické a potenciální (tlakové) energie vodního toku. Kinetická energie závisí na rychlosti proudění a potenciální energie na výškovém rozdílu hladin před a za turbínou. Z hlediska způsobu přenosu energie dělíme turbíny na dva základní typy:

- rovnotlaké (akční) – tlak se při průchodu turbínou nemění a je tak využita pouze kinetická energie;
- přetlakové (reakční) – tlak za turbínou je nižší a dochází tak k využití kinetické i potenciální energie vody.

Mezi nejčastější druhy rovnotlakých turbín patří Peltonova a Bánkiho turbína, k přetlakovým se řadí Francisova a Kaplanova turbína [16].

Pro nízkou hodnotu potřebného výkonu u ostrovních domů jsou vhodné turbíny rovnotlaké, proto jsou blíže představeny. Peltonova turbína (obr. 2.4) pro svou rotaci využívá ostřík z jedné nebo více dýz na lopatky umístěné po obvodu turbíny. Lopatky jsou miskovitého tvaru a nazývají se korečky. Peltonova turbína najde využití u vysokých spádů. Bánkiho turbína je konstrukčně nenáročná, a proto může být i domácí výroby. Zajímavostí je, že voda prochází

přes lopatky Bánkiho turbíny dvakrát – při vstupu a následně i při opouštění oběžného kola [16]. Pro malé výkony se také může použít turbína v podobě Archimédova šroubu, klasické vodní kolo nebo turbína Turgo, která je obdobná turbíně Peltonově.



Obr. 2.4: Peltonova turbína s dýzou z požární hadice [17]

Pokud se na pozemku off-grid domu nachází energeticky využitelný vodní tok, může být vodní elektrárna vhodnou volbou zdroje energie. Pro výkon turbíny je pak důležitá velikost spádu a průtoku. Voda k turbíně může být přivedena potrubím, náhonem nebo hadicí. Turbína se také může umístit přímo do vodního toku, platí že by voda měla být zbavena naplavenin průchodem česli. Výhoda vodních elektráren tkví ve větší stabilitě výroby elektřiny oproti elektrárnám solárním a větrným.

2.4 Baterie

Baterie jsou pro svou schopnost akumulace elektrické energie nepostradatelným prvkem off-grid domů. Akumulují nespotřebovanou elektřinu a při nedostatečné výrobě ji poskytují, tím řeší variabilitu produkce energie z obnovitelných zdrojů. Běžné typy používaných baterií jsou na bázi olova nebo lithia. Před představením jejich odlišností se seznámme s vlastnostmi, jenž ovlivňují výběr baterií vhodných pro ostrovní systémy. Základními kritérii jsou kapacita a výkon baterie. Kapacita udává množství energie uložené v akumulátoru a měla by být dimenzovaná pro několikadenní provoz off-grid domu. Výkon informuje o množství elektřiny, kterou baterie může dodat v daný moment. Z důvodu chemického složení baterií, musí být určitá část kapacity trvale nabita, v opačném případě hrozí značné zkrácení životnosti. Proto se zavádí hloubka vybití (často jako DoD⁵), která udává maximální množství vyčerpané kapacity pro optimální životnost. Kapacita baterií s počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů trvale klesá a životnost se zpravidla pohybuje od 5 do 15 let. Důležitým parametrem je i účinnost baterie, jelikož nabíjení a vybíjení neprobíhá beze ztrát [18].

⁵ Depth of Discharge [18]

2.4.1 Baterie na bázi olova

Olověné akumulátory představují časem prověřenou technologii akumulace energie. Na trhu se vyskytují v několika provedeních podle formy elektrolytu. K nejstarším typům se řadí baterie se zaplavenými elektrodami, kde je elektrolyt v podobě kapaliny. Tento druh akumulátoru vyžaduje údržbu doplňováním destilované vody a musí být větrán, neboť při své práci vylučuje toxické plyny. K pokrokovějším typům se řadí bezúdržbové akumulátory VRLA⁶, ve kterých je elektrolyt ztužen ve formě gelu nebo napuštěn ve skelných vláknech (takzvané AGM⁷). U těchto baterií nehrozí únik elektrolytu [19]. Maximální hloubka vybití olověných baterií bývá do 50 %. Při dlouhodobém částečném stavu vybití olověných baterií dochází k sulfataci, což způsobí pokles kapacity akumulátorů – tento problém se nenachází u baterií na bázi lithia [20].

2.4.2 Baterie na bázi lithia

Nejpoužívanější lithiové baterie jsou na bázi lithium-železo-fosfát (LiFePO₄, LFP). Oproti olověným akumulátorům nabídnou větší přípustnou hloubku vybití (až 80 %), díky čemuž postačí menší instalovaná kapacita. Lithiové články jsou bezúdržbové a vynikají ve své vysoké účinnosti a kompaktní velikosti. I přes svou vyšší cenu překonaly baterie olověné a jsou velmi dobrou volbou pro off-grid domy [20].

2.5 Regulátor dobíjení

Regulátor dobíjení (často také regulátor nabíjení) propojuje zdroj obnovitelné energie s bateriovým úložištěm. Pomocí řízení přísunu a výdeje energie zajišťuje optimální nabíjení akumulátoru a chrání ho před přehříváním nebo hlubokým vybitím. U malých ostrovních systémů mají regulátory zabudované výstupy pro spotřebiče na stejnosměrný proud, u větších jsou specificky navrženy pro práci se střídači. Podle technologie regulace se regulátory dělí na dva základní typy – PWM⁸ a MPPT⁹. Funkce PWM regulátorů spočívá ve srovnání napětí baterie a zdroje energie – tím může nastat pokles výkonu a účinnosti zdroje z důvodu odsunu z optimálního provozního napětí. Hodí se pro menší ostrovní systémy, ve kterých napětí zdroje např. solárních panelů výrazně nepřesahuje napětí baterií. Regulátory MPPT jsou pokročilejší a dovolují zdroji energie pracovat při optimálním napětí pro maximální možný výkon. Uplatní se ve větších systémech, kde napětí zdroje převyšuje napětí akumulátorů. Regulátory s funkcí MPPT jsou dražší, ale v závislosti na napětí zdroje a baterie mohou zvýšit energetický výnos až o 30 % [21].

⁶ Valve Regulated Lead Acid [19]

⁷ Absorbed Glass Mat [19]

⁸ Pulse Width Modulation [21]

⁹ Maximum Power Point Tracking [21]

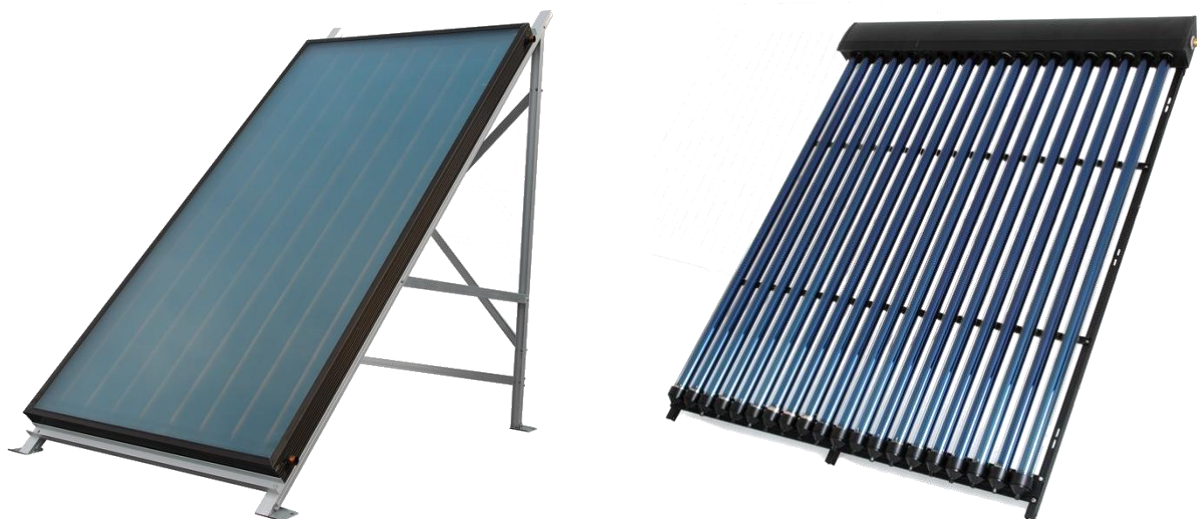
3 Zajištění tepla

Udržení vnitřní tepelné pohody a dostatek teplé vody patří k základním požadavkům komfortního bydlení. K zajištění tepla v off-grid domech se mohou použít jednoduchá kamna na dřevo, důmyslnější tepelná čerpadla nebo třeba solární termické systémy. Pro co nejmenší energetické ztráty a tím ekonomičtější provoz je také důležité zvolit správnou konstrukci a izolaci domu.

3.1 Solární termické systémy

Solární termické systémy přeměňují energii slunečního záření na teplo, využívají se k přípravě teplé vody nebo k vytápění budovy. Sluneční paprsky jsou zachytávány solárním kolektorem a následně pohlcovány absorberem, ve kterém se teplo předává proudícímu teplotonosnému médiu¹⁰. Médium se dále rozvádí trubkami a podle typu systému předává teplo v zásobníku nebo ve vnitřním vzduchu budovy. Nejprostším systémem je gravitační systém, který se využívá v místech, kde nehrozí poškození kolektoru mrazem. Teplotonosným médiem je voda a její zásobník je umístěn nad kolektorem, díky jevu zvanému termosifon kapalina cirkuluje bez nutnosti čerpadla. V systémech s nuceným oběhem se používá nemrznoucí směs, která přes výměník předává teplo zásobníku s horkou vodou, pro oběh média jsou využívána čerpadla. Při použití vzduchu jako teplotonosného média se jím pouze vytápí budova [22].

Kapalinové kolektory se vyskytují ve dvou základních provedeních, viz obr. 3.1. Prvním typem jsou ploché (deskové) kolektory, které sestávají z absorberu připevněnému k tenkému plechu. Absorbér složený většinou z měděných trubek je umístěn na spodní straně rámu a u moderních kolektorů je opatřen selektivní vrstvou, která zabraňuje zpětnému záření získané tepelné energie. Pro minimalizaci tepelných ztrát je vrchní strana zasklena. Druhým typem provedení je vakuový trubicový kolektor. Skládá se z trubiček absorberu umístěných ve skleněných trubicích, ve kterých je vytvořeno vakuum. Tím se sníží konvektivní tepelné ztráty vznikající pohybem vzduchu. Trubicový kolektor je dražší, ale zejména v chladnějších obdobích poskytne vyšší energetický výnos [22].



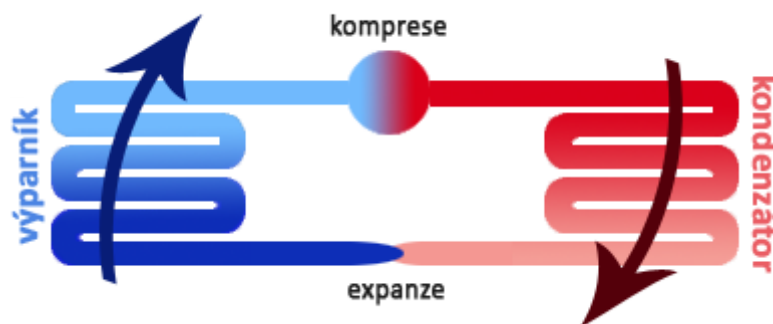
Obr. 3.1: Plochý kolektor (vlevo) a vakuový trubicový kolektor (vpravo) [24]

¹⁰ Teplotonosným médiem může být voda, nemrznoucí směs nebo vzduch [22].

Při ohřevu teplé vody se solární termické systémy dimenzují na pokrytí zhruba 60 % roční spotřeby. V letním období kolektory pokryjí obvykle veškerou spotřebu, ale v zimě výkon klesá a k ohřevu se musí využít doplňkové topné systémy. Kolektory se většinou umísťují na střechu, a v našich podmínkách nabývají nejvyšší účinnosti pod sklonem 40–45° směrem na jih. Na osobu vystačí 1–2 m² kolektorové plochy a akumulční zásobník o velikosti 80–100 litrů [22], [23].

3.2 Tepelná čerpadla

Funkce tepelného čerpadla spočívá v předávání tepelné energie z místa chladnějšího do místa teplejšího, toto teplo pak slouží k vytápění nebo k ohřevu vody. Tepelné čerpadlo pracuje na principu uzavřeného chladicího okruhu obdobně jako chladnička. Cyklus nejrozšířenějšího kompresorového typu tepelného čerpadla se skládá ze čtyř na sebe navazujících prvků – kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník (obr. 3.2). Kompresor, obvykle poháněný elektromotorem, stlačuje plynné teplotnosné médium (chladiivo) na vysoký tlak, které se tímto ohřívá. Ohřáté médium pokračuje do kondenzátoru, kde je jeho zkapalněním předáno teplo do místa teplejšího. Již kapalné médium prochází expanzním ventilem, ve kterém se sníží jeho tlak. Ve výparníku se přijmutím tepla z chladnějšího místa chladivo odpaří a pokračuje do kompresoru, aby se stlačením cyklus mohl opět opakovat [22].



Obr. 3.2: Cyklus tepelného čerpadla [25]

Podstata tepelných čerpadel spočívá v přečerpávání tepla ze zdrojů s nízkou teplotní hladinou. Velké množství takového nízkopotenciálního tepla se nachází v zemi, vodě a vzduchu. Pro využití tepla Země se používá teplotnosné médium proudící většinou v plastových trubkách, které jsou uloženy v hadovité formě 1,2–1,5 m pod povrchem (zemní kolektory) nebo svisle v hloubkových vrtech¹¹. Teplo vody se může čerpat ze spodní vody pomocí dvou studní nebo z vody povrchové, u které se musí věnovat pozornost možnému zamrznutí. Tepelná čerpadla využívající teplo vzduchu se řadí k nejsnáze realizovatelným, ale jejich nevýhodou je nižší efektivita, kvůli nízké teplotě vzduchu v zimě [22].

Efektivitu tepelných čerpadel popisuje topný faktor COP¹², který dává do poměru získanou tepelnou energii k dodané energii elektrické (pro pohon čerpadel a kompresoru). Velmi dobré systémy dosahují roční provozní hodnoty faktoru 4. Nejvyšších faktorů dosahují čerpadla

¹¹ Ve 100 metrech pod povrchem je konstantní teplota 10 °C [22].

¹² Coefficient Of Performance [22]

čerpající teplo ze země, následně ze spodní vody a poté ze vzduchu. Obecně platí, že je hodnota topného faktoru příznivější s vyšší teplotou zdroje a s nižší teplotou v topném okruhu. Z tohoto důvodu se tepelné čerpadlo kombinuje s podlahovým vytápěním, které nevyžaduje vysokou teplotu topné vody. Některé druhy tepelných čerpadel mohou být využity i k chlazení [22].

3.3 Kotle, kamna a krby

Zajištění tepla spalováním paliva se řadí k tradičním a dlouho používaným možnostem vytápění domácností. Princip spalování spočívá v přeměně energie chemických vazeb paliva na energii tepelnou, palivem může být biomasa, uhlí, topné plyny nebo oleje. Biomasa, což je hmota z organického materiálu, patří k přírodě nejšetrnějšímu palivu – řadí se k obnovitelným zdrojům a její spalování je uhlíkově neutrální. Nejpoužívanější biomasou je dřevo a jeho štěpky zformované do pelet nebo briket, jejichž výhodou je snazší přeprava, manipulace a větší možnost automatizace. Samotné hoření probíhá v kotlích, kamnech nebo krbech, u kterých je kromě paliva nutné zajistit dostatečný přístup vzduchu a odvod spalin [22].

Kotle při své práci ohřívají vodu, která může být spotřebována jako voda teplá, nebo rozvedena do otopných těles po budově. Využívají se tedy k centrálnímu vytápění a jejich provoz může být automatický nebo s nutnou obsluhou. Automatické kotle přináší vysoký komfort obsluhy bez potřeby manuálního doplňování paliva. Palivo je automaticky přepravováno ze zásobníku, jehož velikost by měla být dostačující na pokrytí spotřeby v běžném roce. Kotle automatické nejčastěji spalují pelety, plyn nebo olej. Pro spalování štípaného dřeva se používají kotle s ručním přikládáním, jsou levnější, ale jejich obsluha a regulovatelnost není tak komfortní jako u automatických. Pro optimální funkci kotlů je doporučeno nainstalovat akumulaci zásobník, který odebírá přebytečné teplo a následně jím pokrývá spotřebu [22]. Na trhu se nachází i kotle elektrické, avšak jejich vysoký požadovaný příkon je pro celoroční vytápění a ohřev vody v domech bez přípojky k elektrické síti problematický – nicméně s výhodou se mohou využít pro přípravu teplé vody v období, kdy vznikají velké přebytky energie z obnovitelných zdrojů.

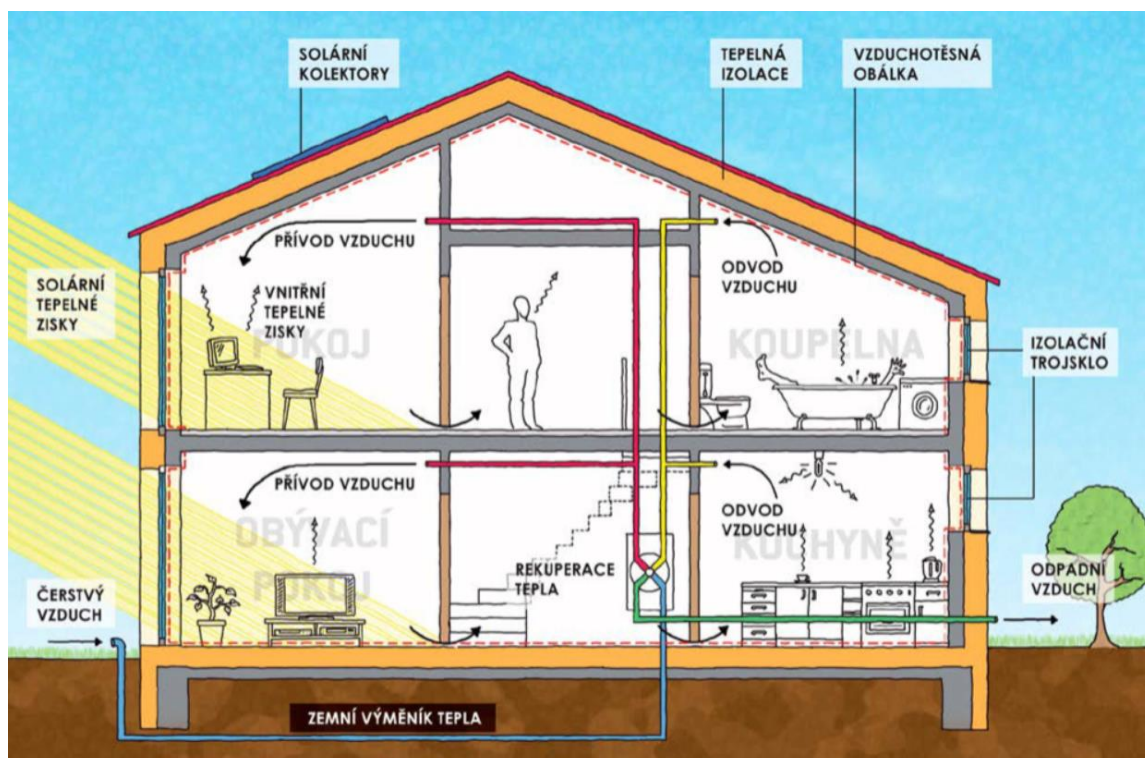
K lokálnímu vytápění slouží kamna a krby, které jsou zpravidla umístěny v centrálním obývaném pokoji a místnost vytápí napřímo. Pokud se však provedou v kombinaci s teplovodním výměníkem je možné teplotu vodu rozvádět po domě stejně jako u kotlů. Jejich provoz může být opět automatický nebo s nutnou obsluhou. Automatické kamna a krby spalující pelety nabízí snadnou regulaci, obsluhu a jednoduché dávkování do zásobníku i na několik dní. Naopak u zařízení spalujících dřevo nebo uhlí je potřeba často přikládat a čistit od popele. Teplo z kamen se kromě vytápění může využít i k přípravě pokrmů a společně s krby jsou vyhledávány jako interiérový prvek, který plápolajícím ohněm dotvoří takzvané teplo domova [26].

3.4 Konstrukce domu

Výše zmíněné možnosti zajištění tepla nemají ekonomický a ekologický smysl bez správné konstrukce a izolace domu. Pro minimalizaci tepelných ztrát je při stavbě a rekonstrukci off-grid domů výhodné postupovat dle konceptů domů pasivních. Schéma pasivního domu, jehož prvky budou rozebírány v následujících odstavcích je uvedeno na obrázku 3.3. Mezi základní znaky těchto domů patří:

- orientace budovy s využitím solárních zisků;
- izolovaná okna a dveře s nízkým součinitelem prostupu tepla;
- kvalitně zaizolovaná obálka domu;
- řešení konstrukce s potlačením tepelných mostů;
- vzduchotěsná obálka zabraňující průchodu vzduchu a vlhkosti spárami;

- větrání se zpětným ziskem tepla (rekuperací) [27].



Obr. 3.3: Schéma prvku pasivního domu [27]

Zisk solární energie se uskutečňuje vhodně rozmístěnými a zvolenými okny. Většina oken by měla být orientovaná směrem na jih a izolačně zasklena (nejlépe trojskly). Okna směřující ke Slunci sice umožňují ohřev interiéru v zimě, ale problematickým by se mohlo stát přehřívání v létě. Proto jsou okna opatřena ochranou. Nejúčinnější ochranou před přehříváním jsou stínící prvky na vnější straně oken. Jako pevné stínící prvky lze použít přesahy střechy, balkony nebo slunolamy. Pevné stínící prvky poskytují ochranu před vysoko umístěným letním Sluncem, ale nebrání nízkému Slunci v zimě, viz obr. 3.4. Další možností jsou stínící prvky přechodné, ke kterým se řadí vnější žaluzie, screenové či látkové rolety nebo posuvné okenice [27].



Obr. 3.4: Pevné stínící prvky v průběhu roku [28]

Další nezbytnou součástí energeticky úsporných domů je izolovaná konstrukce s vysokým tepelným odporem. Ta umožňuje akumulaci tepla v zimě a chrání proti přehřívání v létě. K používaným izolačním materiálům se řadí např. polystyren, minerální vata nebo fenolická

pěna. Často se také volí přírodní izolace z materiálů jako je dřevo, konopí, len nebo sláma. Výběr izolace směřuje k materiálům s nižším součinitelem tepelné vodivosti. Tvar budovy je nejlépe kompaktní bez zbytečných výčnělků. U konstrukce by měly být potlačeny tepelné mosty, což jsou místa se zvýšeným tepelným tokem. Nejčastější riziko vzniku je na místech s oslabenou izolační vrstvou a v důsledku napojení konstrukcí (rohy, kotvy izolace, napojení balkonové desky nebo oken). Důsledkem tepelných mostů je vyšší tepelná ztráta a tím nižší teplota na vnitřní straně konstrukce. Se snižováním teploty roste relativní vlhkost vzduchu až po tzv. rosný bod, při kterém nastává kondenzace vody na stěně. Zvýšená vlhkost způsobená kondenzací může mít za následek růst plísní, které u lidí mohou za řadu nemocí [27].

Vysoké úspornosti pomáhá dosáhnout větrání s rekuperací. Větrací jednotky vyměňují vzduch řízeně v potřebném množství, bez průvanu a hluku. Čerstvý vzduch je přiváděn do bytových místností a odpadní odváděn z míst s produkcí pachu nebo vlhkosti. Rekuperace spočívá v předávání tepla odpadního a čerstvého vzduchu v rekuperačním výměníku. Přiváděný vzduch se také může vést zemí, ve které se v zimě ohřeje a v létě ochladí. Pro vysokou účinnost zpětného získávání tepla větracím systémem je potřeba zajistit jistou míru vzduchotěsnosti budovy, která rovněž zabrání prostupu vlhkosti do konstrukce [27].

4 Hospodaření s vodou

Dostupnost dostatečného množství vody je jedním z nejdůležitějších prvků domů nepřipojených k vodovodní síti. Obyvatelé off-grid domů si musí vodu obstarat z vlastních zdrojů a pro zdravotní nezávadnost ji upravit. Šetrnému hospodaření dopomáhá oddělení upravené vody pitné od vody užitkové např. na zalévání zahrady. Kromě zajištění čisté vody je potřeba systémů, které naloží s vodou odpadní.

4.1 Zdroje a rozvod vody

Nejčastějšími zdroji vody jsou studny, studánky nebo vodní toky a plochy. Studny se hloubí kopáním nebo vrtáním na místě s předpokladem výskytu podzemní vody a vhodnou skladbou podloží. Studny kopané se budují do hloubky několika jednotek až desítek metrů, proto se doporučují na místech, kde se podzemní voda nachází blízko k povrchu. Jakost vody ze studní kopaných není tak vysoká a množství v mělkých vrstvách je přímo závislé na úhrnu srážek. Oproti tomu studny vrtané jímají vodu z hloubek větších a dosahují přitom hloubky několika desítek metrů, díky čemuž je voda kvalitnější a její množství není ovlivněno suchem. Další možností získávání podzemní vody je zachytávání pramene ze studánky, což je místo, kde podzemní voda tekoucí po nepropustném podlaží vyvěrá na povrch. Vydatnost pramene se může podle období lišit, a proto je potřeba před úpravou studánky k odběru ověřit jeho spolehlivost v průběhu roku. Podzemní voda ze studní a studánek se pro svoji čistotu a zdravotní nezávadnost často využívá jako voda pitná. Voda povrchová z vodních toků nebo ploch se jako pitná využívá zřídka, protože bývá zpravidla znečištěná a pro použití vyžaduje důkladnou úpravu. Nezanedbatelným zdrojem je také voda srážková, která je díky své měkkosti vhodná pro praní a úklid [29], [30].

Po zvolení vhodného zdroje vody je nutné zajistit její čerpání a rozvod. Pokud se zdroj vyskytuje dostatečně vysoko nad ostrovním domem může být k rozvodu vody využito samospádu. Dalším způsobem samočinného rozvodu vody je čerpání vodním trkačem, který na principu vodního rázu dokáže z vodního toku vytlačet vodu bez spotřeby elektrické energie. Obvykle však bude potřeba použití čerpadel na ruční nebo elektrický pohon. Ruční čerpadla – pumpy – jsou nejjednodušší zařízení pro čerpání vody ze studní. Zpravidla jsou použitelné do hloubky 7 metrů, některé až do 30 metrů. Hloubka čerpané vody také ovlivňuje výběr čerpadel s elektrickým pohonem. Do hloubky 8 metrů jsou použitelné čerpadla povrchové, pro větší hloubky se již musí používat čerpadla ponorné. Pro komfort natlakované tekoucí vody z kohoutku se v kombinaci s čerpadly používají tlakové nádoby, které shromažďují vodu pod tlakem stlačeného vzduchu. Tato kombinace se na trhu vyskytuje již sestavená pod názvem domáci vodárna [29].

4.2 Úprava vody

Ani na pohled čistá voda nemusí být vhodná k pití. Prvním krokem k její úpravě je mechanická filtrace, která zabrání průchodu drobných částic. Dalšími filtry se odstraňuje tvrdost vody, železo, mangan, dusičnany a jiné soli rozpuštěné ve vodě. Po odstranění nečistot zbývá vodu vydezinfikovat pomocí UV lampy, která vodu zbaví mikroorganismů. Pro co největší čistotu vody se může využít filtr na bázi reverzní osmózy, tento filtr odstraní všechny soli z vody, proto se na posledním stupni nachází mineralizační vložka, která do vody navrácí minerály nezbytné pro lidské tělo. Správná volba postupu úpravy vody závisí na výsledcích z laboratorního rozboru, který ověří její čistotu [31].

4.3 Likvidace a recyklace odpadních vod

Domy nepřipojené k veřejné kanalizaci musí být schopny likvidovat anebo akumulovat odpadní vody. K decentralizovanému nakládání s odpadní vodou se využívá jímka, septik nebo čistírna odpadních vod. Jímka neboli žumpa je bezodtoková nádrž shromažďující odpadní vodu. Splašky pouze jímá, a proto se musí pravidelně vyvážet fekálním vozem. Z důvodu finančně nákladného vyvážení najde jímka uplatnění pouze u sporadicky obývaných nemovitostí. Septik již oproti jímce poskytne částečné přecházení odpadních vod. Jeho funkce spočívá v usazování a rozkladu pevných částic v komorách, mezi kterými protéká voda, viz obr. 4.1. Předčištěná voda následně vtéká do zemního nebo biologického filtru a vypouští se. Nejdokonalější čistící proces probíhá v čistírně odpadních vod (ČOV). Proces v několika komorách ČOV zahrnuje usazování pevných částic a biologické čištění za přítomnosti vzduchu díky provzdušňování elektrickým dmychadlem. Bakterie žijící v domovní ČOV potřebují stálý přísun odpadní vody, proto se hodí k trvale obývaným objektům. V septiku i v ČOV se hromadí kal, který je nutno jednou za čas vyvézt [32].



Obr. 4.1: Tříkomorový septik v kruhovém provedení [32]

Hospodárnému zacházení s vodou napomáhá její recyklace. Vhodné je oddělení jednotlivých druhů odpadních vod podle stupně znečištění:

- šedá voda – voda z koupelen, praček, umyvadel;
- černá voda – voda ze záchodů obsahující výkaly a moč.

Mírně znečištěná šedá odpadní voda se snáze čistí a po úpravě ji lze využívat jako vodu provozní (tzv. bílou vodu) např. pro splachování záchodů a zalévání zahrad. Nejvýznamnější znečištění šedých vod pochází z čistících prostředků (prací prášky, šampóny, mýdla a jiné). Černé vody odváděné ze záchodů můžeme kompostováním přeměnit na přírodní hnojivo [33].

Pro úsporu vody se kromě klasických toalet mohou využít toalety suché, které nepotřebují vodu ke splachování. Suchý záchod se obvykle zasypává popelem, pilinami nebo jiným materiálem, který usnadní kompostování a zabrání šíření zápachu. V suchých záchodech se moč a výkaly mohou shromažďovat společně nebo v tzv. separačních záchodech odděleně. Oddělená moč se dá po zředění s vodou využít jako hnojivo obsahující velké množství živin, zejména dusík, fosfor a draslík. Výkaly je doporučeno skladovat půl roku v zásobníku a následně zkompostovat [33].

5 Energetický návrh off-grid domu

5.1 Spotřeba elektrické energie

Před realizací ostrovního systému je důležité zhodnotit možnosti dosažení energetické soběstačnosti při výrobě elektrické energie. Předpokladem je dimenzování elektrárny podle velikosti spotřeby. Tu je vhodné minimalizovat užitím spotřebičů s nízkým požadovaným příkonem, jako jsou LED žárovky a ostatní úsporné spotřebiče¹³. Přehlednou informaci o spotřebě elektřiny získáme souhrnem do tabulky, kde se součin příkonů a předpokládaných dob provozu rovná denní spotřebě jednotlivých zařízení. Suma denních spotřeb všech zařízení udává přibližnou hodnotu, se kterou je dále počítáno.

Tab. 1: Přibližná denní spotřeba elektřiny

| Spotřebič | Počet | Příkon [W] | Denní doba provozu [h] | Denní spotřeba [Wh] |
|-------------------------------|-------|------------|------------------------|---------------------|
| Chladnička s mrazničkou* | 1 | - | - | 408 |
| Čistička odpadních vod | 1 | 50 | 24 | 1200 |
| Kombinovaný sporák | 1 | 2200 | 1 | 2200 |
| LED televize | 1 | 24 | 3 | 72 |
| LED žárovka | 10 | 15 | 3 | 450 |
| LTE modem | 1 | 12 | 16 | 192 |
| Mikrovlnná trouba | 1 | 1000 | 0,15 | 150 |
| Myčka* | 1 | - | - | 586 |
| Notebook | 2 | 20 | 3 | 120 |
| Oběhové čerpadlo | 2 | 10 | 5 | 100 |
| Ostatní | - | - | - | 300 |
| Ponorné čerpadlo do studny | 1 | 1000 | 0,15 | 150 |
| Pračka* | 1 | - | - | 356 |
| Větrání s rekuperací tepla | 1 | 50 | 24 | 1200 |
| Celková denní spotřeba | | | | 7484 |

Pozn.: Denní spotřeba u spotřebičů označených „*“ byla vypočtena z udávané hodnoty roční spotřeby elektrické energie.

Celková předpokládaná denní spotřeba je **7484 Wh** = 7,484 kWh, tato hodnota se může lišit v závislosti na dodávce energie z obnovitelných zdrojů v zimním a letním období. Například při použití fotovoltaiky se mohou v letních měsících očekávat nadbytky energie, díky kterým bude možno provozovat spotřebiče déle, ale zato v zimních měsících bude snaha o minimalizaci spotřeby – například užitím kamen místo sporáku k přípravě pokrmů.

Kromě celkové denní spotřeby se tabulka může využít k součtu příkonů spotřebičů, podle kterého se vybírá výkon střídače. Při součtu se musí vzít v úvahu rozběhové proudy zařízení, především s elektromotory. Rozběhové proudy mohou činit i trojnásobek udávaného příkonu

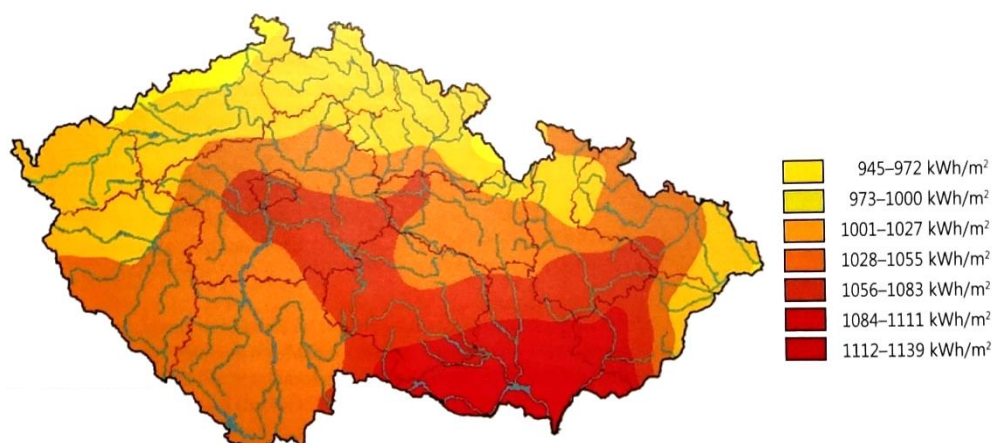
¹³ S výběrem úsporných spotřebičů mohou pomoci energetické štítky, které udávají energetickou náročnost a další důležité parametry jako jsou emise hluku a např. u pračky spotřebu vody. Během roku 2021 prochází štítky modernizací, při které jsou dosud používané třídy A+ a vyšší zrušeny a jsou užívány pouze třídy A–G. Aktuálně nejúspornější spotřebiče (dříve označované jako A+++) se na nových štítcích mohou typicky vyskytovat ve třídách B, C nebo D. To zanechává prostor pro účinnější spotřebiče v budoucnu [34].

u spotřebičů jako jsou chladnička nebo pračka [35]. Výkon střídače může být volen nižší, pokud uživatel nebude používat náročné spotřebiče zároveň.

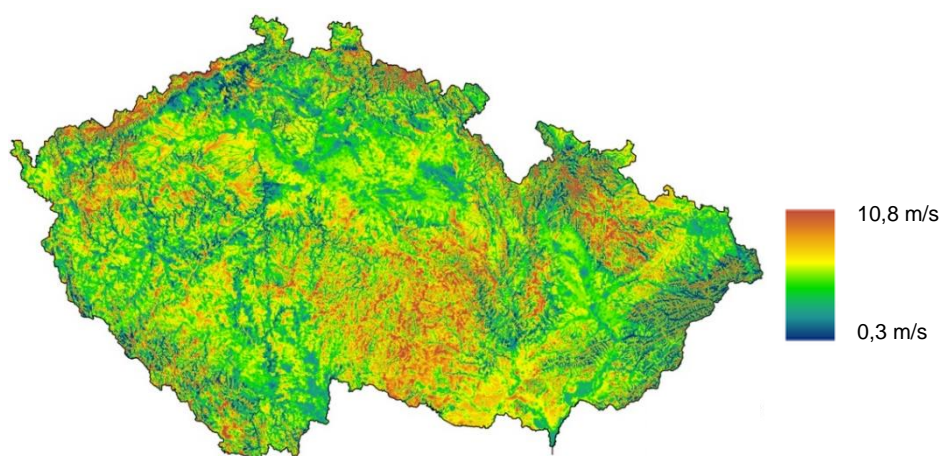
5.2 Zajištění elektrické energie

5.2.1 Lokalita

Po vyčíslení spotřeby se mohou zhodnotit možné varianty obnovitelných zdrojů elektrické energie, jejich volba vždy závisí na podmínkách v dané lokalitě. Informativní přehled o energetickém potenciálu mohou poskytnout mapy s průměrnou hodnotou slunečního svitu a rychlostí větru. Z mapy na obr. 5.1 můžeme vypožorovat, že nejlepší podmínky pro fotovoltaické systémy budou v jižní části Moravy, kde hodnoty slunečního svitu dosahují až 1139 kWh/m². Využití energie větru je v České republice problematické, neboť průměrná hodnota rychlosti v 10 metrech nad povrchem se pohybuje okolo 3–3,5 m/s. Větrné elektrárny proto mají větší smysl pouze na místech vyvýšených a exponovaných vůči převládajícím směrům větru [36]. To lze usoudit i z obr. 5.2, na kterém je zřejmé že zvýšená rychlost větru převažuje v oblastech vrchovin a pohoří. Posouzení vhodnosti vodní elektrárny závisí na vlastnostech jednotlivých toků, a to zejména na velikosti spádu a průtoku.



Obr. 5.1: Průměrné hodnoty slunečního svitu [22]



Obr. 5.2: Průměrné rychlosti větru ve výšce 10 m nad povrchem [36]

5.2.2 Dimenzování zdrojů elektrické energie

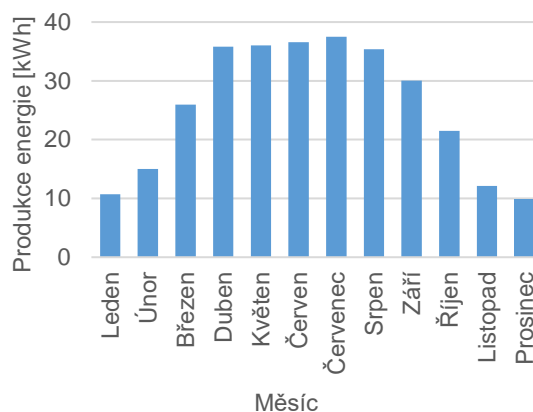
Uvažujeme, že off-grid dům bude postaven na jižní Moravě nedaleko obce Mikulov. Pro příznivé podmínky slunečního svitu v této lokalitě budou pro dům použity, jako hlavní zdroj energie, solární panely. Solární panely budou směřovány na jih a pod úhlem 35° , což je optimální nastavení v průběhu roku. Pro výpočet potřebného výkonu fotovoltaických panelů byl využit informační systém PVGIS vytvořený Společným výzkumným střediskem Evropské komise, který je veřejně dostupný na webu <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.

Pomocí PVGIS jsou vymodelovány hodnoty odváděné energie z fotovoltaiky v jednotlivých měsících. Pro jeden solární panel z krystalického křemíku o výkonu **285 Wp**¹⁴ se systémovými ztrátami 14 %¹⁵ jsou výsledky uvedeny v následující tabulce. Hodnoty z tabulky jsou pro názornost zaneseny do grafu, ve kterém lze pozorovat až tříčtvrtinový prosincový pokles produkované energie z maximální hodnoty v měsíci červenci. Za předpokladu snahy vyhnout se zvýšené závislosti na elektrocentrále budou právě hodnoty pro měsíc prosinec s nejnižší denní produkcí energie pro výpočet výchozí.

Tab. 2: Průměrná produkce energie solárního panelu v průběhu roku [37]

| Měsíc | Denní produkce energie [kWh] | Měsíční produkce energie [kWh] |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Leden | 0,35 | 10,72 |
| Únor | 0,54 | 15,02 |
| Březen | 0,84 | 25,94 |
| Duben | 1,19 | 35,82 |
| Květen | 1,16 | 36,04 |
| Červen | 1,22 | 36,58 |
| Červenec | 1,21 | 37,48 |
| Srpen | 1,14 | 35,38 |
| Září | 1,00 | 30,02 |
| Říjen | 0,69 | 21,51 |
| Listopad | 0,40 | 12,14 |
| Prosinec | 0,32 | 9,88 |
| Roční průměr | 0,84 | 25,54 |

Obr. 5.3: Průměrná měsíční produkce energie solárního panelu v průběhu roku [37]



¹⁴ Watt Peak (Wp) je hodnota výkonu solárního panelu při standardizovaných podmínkách – intenzitě osvětlení 1000 W/m^2 a teplotě modulu 25°C [22].

¹⁵ Systémové ztráty zahrnují ztráty ve vedení, měniči, či zaprášením panelu [37]. Hodnota 14 % je odhadnuta a doporučena systémem PVGIS.

Výpočet

- předpokládaná denní spotřeba: $7484 \text{ Wh} = 7,484 \text{ kWh}$
- denní produkce solárního panelu o výkonu 285 Wp (měsíc prosinec): $320 \text{ Wh} = 0,320 \text{ kWh}$
- potřebný počet panelů na pokrytí denní spotřeby v prosinci: $7484/320 = 23,4 \rightarrow$ **24 solárních panelů**
- instalovaný výkon 24 solárních panelů: $24 \cdot 285 =$ **6840 Wp**
- plocha jednoho panelu o délce 1640 mm a šířce 992 mm: $1,640 \cdot 0,992 = 1,627 \text{ m}^2$
- vyžadovaná plocha pro sestavu 24 solárních panelů: $24 \cdot 1,627 =$ **39 m²**

Zhodnocení

Fotovoltaický systém složený z 24 solárních panelů o výkonu 285 Wp by měl v zimě pokrýt deklarovanou spotřebu a v létě poskytnout v průměru 29 kWh energie denně, což se blíží čtyřnásobku vyčíslené spotřeby. Vzhledem ke klesající účinnosti způsobené stárnutím panelů a dodatečným ztrátám by pro bezpečnostní rezervu bylo vhodné zvětšit systém alespoň o 2 solární panely. V době dlouhodobé nepřízné počasí je pro zálohu možno off-grid dům doplnit elektrocentrálou.

Pro posouzení použitelnosti větrné elektrárny sloužící k napájení celého objektu nebo pouze ke kompenzaci výrazné difference ve výrobě energie v průběhu roku lze využít interaktivní mapu všeobecných větrných podmínek vytvořenou v rámci Strategie AV 21 na stránce <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>. Ve zvolené lokalitě je nízký profil rychlostí větru, s průměrnou rychlostí rovnou 3,31 m/s. Pro turbínu o průměru 3 m s maximálním výkonem 1,44 kW je předpokládaná roční produkce energie nevysoká a to 818,7 kWh [38]. Takto instalovaná větrná elektrárna by pro celkové pokrytí spotřeby energie nebyla ekonomicky příznivá, a proto by byla příhodná pouze jako doplněk k solárním panelům při nízké výrobě v zimním období.

5.2.3 Dimenzování baterií

K uložení energie budou využity akumulátory LiFePO₄, jejichž kapacita bude volena na plné třídní pokrytí spotřeby elektřiny. Uvažováno bude s 80% maximální přípustnou hloubkou vybití a účinností 95 %. Ztráty mezi spotřebičem a bateriemi (tzn. ve vedení a střídači) jsou odhadnuty 10 %. Kapacita baterií se běžně udává v ampérhodinách, a proto zavedeme systémové napětí, které bude pro rozsáhlost ostrovního systému voleno 48 V.

Výpočet

- předpokládaná třídní spotřeba: $3 \cdot 7484 = 22452 \text{ Wh}$
- započítání maximální přípustné hloubky vybití: $22452/0,80 = 28065 \text{ Wh}$
- započítání účinnosti baterie: $28065/0,95 = 29542 \text{ Wh}$
- započítání ztrát ve vedení a měniči: $29542/0,90 = 32825 \text{ Wh}$
- výsledná kapacita uvedená v ampérhodinách: $32825/48 =$ **684 Ah**

Zhodnocení

Výsledná kapacita bateriového úložiště vyšla 684 Ah, ve skutečnosti však může být nižší, neboť výpočet neuvažuje se snížením spotřeby v době nepřízné počasí ze strany obyvatel domu. S minimální ztrátou komfortu může být přesunuto praní prádla nebo mytí v myčce na dny s intenzivnějším slunečním svitem a tím snížena spotřeba vedoucí k nižší potřebné kapacitě.

5.3 Systém vytápění a ohřevu vody

5.3.1 Vytápění

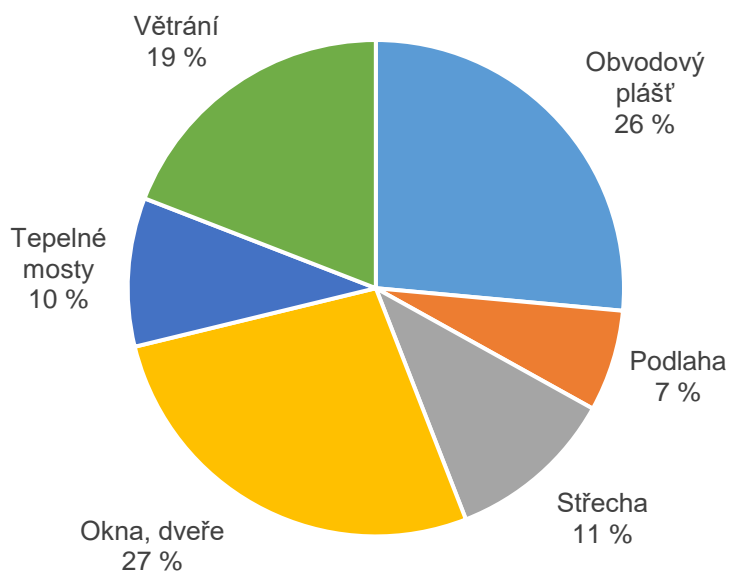
Stejně jako návrh zdrojů a akumulátorů závisí na velikosti spotřeby elektriny, je systém vytápění dimenzován podle vlastností budovy. Myšlený off-grid dům na jižní Moravě bude navrhován jako nízkoenergetický až pasivní dům, který díky neprůvzdušné konstrukci s nízkým součinitelem prostupu tepla a systémem větrání s rekuperací dosáhne nízké potřeby tepla na vytápění. Pro orientační zjištění tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění bude využita kalkulačka: *Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy* dostupná na webu www.tzb-info.cz – jako obec je zvolena Břeclav, neboť z předvolených lokalit nejvíce reflektuje umístění navrhovaného off-grid domu; charakteristika objektu je zachována; hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí jsou voleny dle doporučených hodnot pro pasivní budovy z [39], výčet je znázorněn v tabulce 3; deklarovaná účinnost rekuperace je zvolena 90 % (ve výpočtu je snížena o 10 %). Výsledné tepelné ztráty jsou uvedeny v tab. 4 a procentuální podíl rozložení tepelných ztrát v kruhovém diagramu na obr. 5.4.

Tab. 3: Vstupní hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce z [39]

| Konstrukce | Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)] |
|-------------------|--|
| Stěna | 0,12 |
| Podlaha na terénu | 0,15 |
| Střecha | 0,10 |
| Okna | 0,60 |
| Vstupní dveře | 0,90 |

Tab. 4: Výstupní hodnoty tepelných ztrát [40]

| Mechanismus ztráty tepla | Tepelná ztráta [W] |
|--------------------------|--------------------|
| Prostup tepla | 2132 |
| Výměna vzduchu | 572 |
| Tepelné mosty | 290 |
| Celkem | 2994 |



Obr. 5.4: Distribuce tepelných ztrát v objektu [40]

Z výsledků online kalkulačky vyplývá, že celková tepelná ztráta domu bude 2994 W. Ztráta prostupem tepla, která zahrnuje ztrátu obvodovým pláštěm, podlahou, střechou a výplněmi otvorů činí 2132 W. Ztráta výměnou vzduchu (větráním) je díky využití rekuperační jednotky 572 W, bez započítání rekuperace by ztráta větráním narostla o 2288 W, z tohoto plyne, že rekuperace vzduchu je pro nízkoenergetické domy zásadní [40]. Díky výpočtu tepelné ztráty můžeme určit hodnotu potřebného tepelného výkonu pro vytápění objektu, platí že ztráty by měly být minimálně vyrovnány tepelným výkonem.

Další výstupní hodnotou z kalkulačky je měrná roční potřeba tepla na vytápění, která je rovna 24,1 kWh/(m²a). Do výpočtu jsou také zahrnuty tepelné zisky trvalé (metabolické teplo ze 4 osob = 280 W; teplo od spotřebičů = 100 W) a tepelné zisky solární (určené dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. = 1620 kWh/a¹⁶). Po vynásobení měrné potřeby podlahovou plochou o velikosti 162 m² získáme roční potřebu tepla na vytápění **3,9 MWh/a**.

5.3.2 Ohřev vody

K výpočtu tepla potřebného pro zajištění teplé vody bude využita kalkulačka: *Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* dostupná opět na webu www.tzb-info.cz. Vstupní parametry zabývající se lokalitou jsou obdobné vstupním parametrům pro předešlou kalkulaci. Výsledná denní potřeba tepla pro ohřev vody na teplotu 55 °C o množství pro čtyřčlennou domácnost (uvažováno 50 litrů pro jednu osobu) je 15,7 kWh [41]. Roční potřeba energie na ohřev teplé vody zahrnující rozdílné teploty studené vody v létě/zimě a délku topného období je **4,9 MWh/a** [41].

5.3.3 Řešení celkové roční potřeby tepla

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody získána sečtením výše zmíněných potřeb (tučně) dosahuje hodnoty **8,8 MWh/a**. Lze si povšimnout vyšší hodnoty potřebné energie k ohřevu vody než k vytápění, což je u nízkoenergetických domů standardní.

Pro řešení topného systému bude brána v potaz nadměrná produkce elektřiny ze solárních panelů, která v období s výraznými přebytky může samostatně ohřívat teplou vodu. Dostatečné zisky z fotovoltaiky, které pokryjí celkovou potřebu elektřiny i ohřev teplé vody přetrvávají v měsících duben až září. V tabulce 5 je znázorněna bilance denní produkce energie ze solárních panelů vzhledem k denní spotřebě pro pohon spotřebičů (7,48 kWh) a k ohřevu vody (15,70 kWh), v měsících s nulovou hodnotou dodatečné potřeby tepla k ohřevu vody je produkována energie dostatečná. K přípravě teplé vody elektřinou může být využita topná patrona např. o výkonu 4 kW, která v akumulaci zásobníku ohřeje žádaných 200 litrů vody z 10 °C na 55 °C přibližně za 4 hodiny, uvažujme 98% účinnost přeměny elektřiny na teplo. Denní bilance pro měsíc březen je následující:

- energie dostupná k ohřevu vody (rozdíl denní produkce a spotřeby pro pohon spotřebičů):
 $20,16 - 7,48 = 12,68 \text{ kWh}$
- teplo získané z dostupné elektřiny (98% účinnost přeměny elektřiny na teplo):
 $12,68 \cdot 0,98 = 12,42 \text{ kWh}$
- dodatečné teplo potřebné k ohřevu vody: $15,70 - 12,42 = 3,28 \text{ kWh}$

¹⁶ Jednotka kWh/a značí počet kilowatthodin za rok (lat. annum).

Tab. 5: Denní bilance přípravy teplé vody elektrinou v rámci roku

| Měsíc | Produkce energie ze 24 solárních panelů [kWh] | Energie dostupná k ohřevu vody [kWh] | Teplo získané z dostupné elektřiny [kWh] | Dodatečné teplo potřebné k ohřevu vody [kWh] |
|----------|---|--------------------------------------|--|--|
| Leden | 8,40 | 0,92 | 0,90 | 14,80 |
| Únor | 12,96 | 5,48 | 5,37 | 10,33 |
| Březen | 20,16 | 12,68 | 12,42 | 3,28 |
| Duben | 28,56 | 21,08 | 15,70 | 0 |
| Květen | 27,84 | 20,36 | 15,70 | 0 |
| Červen | 29,28 | 21,80 | 15,70 | 0 |
| Červenec | 29,04 | 21,56 | 15,70 | 0 |
| Srpen | 27,36 | 19,88 | 15,70 | 0 |
| Září | 24,00 | 16,52 | 15,70 | 0 |
| Říjen | 16,56 | 9,08 | 8,89 | 6,81 |
| Listopad | 9,60 | 2,12 | 2,07 | 13,63 |
| Prosinec | 7,68 | 0,20 | 0,19 | 15,51 |

Pozn.: Ve výpočtech není zohledněn rozdíl potřebné energie na ohřev teplé vody v létě/zimě a je počítáno s denní potřebou 15,70 kWh tepla pro všechny měsíce.

Z tabulky si lze povšimnout, že solární zisky také částečně pokryjí ohřev vody i v dalších měsících, zejména pak v březnu a říjnu. Pro zbylý ohřev vody v měsících s nedostatkem solárních zisků a vytápění vnitřního vzduchu v chladnějších částech roku bude využito krbových kamen s teplovodním výměníkem. Maximální výkon předávaný do vzduchu tělesem kamen bude 2,4 kW a do teplovodního okruhu 7,8 kW, energetická účinnost bude 78 %. Teplovodní okruh sestává z akumulčního zásobníku a radiátorů. Palivem jsou dřevěná polena, jejichž potřebné množství na jednu topnou sezónu je vyčísleno níže. Potřebné teplo pro ohřev vody kamny je bráno jako suma dodatečných tepel potřebných k ohřevu vody vynásobena počtem dní v jednotlivých měsících (vyděleno 1000 pro převod z kWh na MWh).

- celková roční potřeba tepla = vytápění + ohřev vody (vyjma ohřevu vody fotovoltaikou):
 $3,9 + (14,80 \cdot 31 + 10,33 \cdot 28 + 3,28 \cdot 31 + 6,81 \cdot 31 + 13,63 \cdot 30 + 15,51 \cdot 31)/1000 = 5,9 \text{ MWh/a}$
- potřeba tepla po započítání 78% účinnosti kamen: $5,9/0,78 = 7,5 \text{ MWh/a}$
- výhřevnost paliva (sušené bukové dřevo): $4,15 \text{ kWh/kg} = 0,00415 \text{ MWh/kg}$ [22]
- potřebné množství paliva na jedno otopné období: $7,5/0,00415 = 1807,4 \text{ kg}$

Z výpočtů plyne, že potřebné množství dřevěných polen na jednu topnou sezónu se blíží dvěma tunám. Dodatečnou představu o množství paliva získáme převedením na prostorovou míru skládaného (rovnaného) dřeva, kdy 1 prostorový metr [prm] (dřevo složené do krychle o objemu 1 m^3) má výhřevnost 1,91 MWh [22], potřebné množství paliva je pak:

- množství paliva vyjádřené prostorovou mírou: $7,5/1,91 = 3,9 \text{ prm}$

Pro uskladnění dříví bude potřeba prostor o necelých 4 kubických metrech. Kamna na dřevo byla zvolena, neboť spalování místní suroviny nejvíce odráží smysl soběstačnosti a nezávislosti při bydlení off-grid. Dalším použitelným a k přírodě šetrným palivem mohou být pelety, které by však musely být dováženy. Volba tak závisí na preferencích obyvatel a případné dostupnosti paliva.

ZÁVĚR

Snížená závislost rodinných domů na vnějších dodávkách elektřiny je stále rozšířenějším tématem. Stále častěji je možno pozorovat solární panely na střechách staveb, které jsou během několika let schopny pokrýt počáteční investici a začít majitelům vydělávat. V off-grid domech je myšlenka snížení závislosti pozměněna v úplnou samostatnost, které je dosaženo pokrytím veškeré spotřeby elektřiny vlastními zdroji. Nejpoužívanějšími zdroji energie v off-grid systémech jsou právě solární panely, po nich se lze také setkat s větrnými či vodními elektrárnami. Pro zajištění samostatnosti je podstatné doplnění zdroje energie bateriovým úložištěm, jehož funkce spočívá v akumulaci přebytku elektřiny a poskytování v době s nedostatečnou produkcí. Z ekonomického hlediska se dá u domů nepřipojených k síti očekávat vysoká počáteční investice na zřízení celého systému, obsahujícího kromě zdroje energie a baterie, také další důležité komponenty, jako jsou regulátor nabíjení nebo střídač. Systém však může být provozován bez dalších nákladů.

Off-grid domy jsou perspektivní variantou bydlení pro lidi, kteří chtějí žít soběstačným a udržitelným životem blíže k přírodě. Odkázaností sami na sebe se obyvatelé těchto domů navrací ke stylu života, jaký byl dříve, ale již s aktuálními technologiemi, které zajistí komfort v podobě dostatku elektřiny, tepla a vody i přes nepřipojení k sítím. Zvětšujícímu se zájmu o ostrovní bydlení dopomáhá i stále rozsáhlejší pokrytí mobilními sítěmi a možnost práce z domova. Tomu odpovídá velké množství videí na serveru YouTube, kde off-grid nadšenci předávají své know-how nováčkům a zájemcům o soběstačný styl života. K přiblížení off-grid domů také slouží teoretická část této bakalářské práce, která shrnuje možné způsoby zajištění elektřiny, tepla a řeší vodní hospodářství objektu. Praktická část obsahuje energetický návrh domu, kde je stručně představen výpočet bilance elektřiny a systému vytápění s ohřevem vody.

SEZAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RITCHIE, Hannah a Max ROSER. Urbanization. *Our World in Data* [online]. 2018 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/urbanization>
- [2] PURDY, Elizabeth. Earthship. *Encyclopædia Britannica* [online]. 2017 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/Earthship>
- [3] Jak stavíme dům na pozemku bez inženýrských sítí a jaké technologie používáme. *Český soběstačný dům* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.csdom.cz/cesky-sobestacny-dum-jak-stavime-dum-bez-siti-a-jake-technologie-pouzivame.html>
- [4] Český soběstačný dům. *Facebook* [online]. 2021 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/ceskysobestacnydum/photos/3881918011871876>
- [5] SDG7: Data and Projections: Access to electricity. *IEA* [online]. Paris, 2020 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>
- [6] MATAJS, Vladimír. Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém?. *Solární experti* [online]. 2015 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaický-system>
- [7] BRAUN, Tomáš. Jak správně vybrat ATS – automatický záložní zdroj?. *MEDVED* [online]. [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://www.medved-elektrocentraly.cz/blog/jak-spravne-vybrat-ats-automaticky-zalozni-zdroj>
- [8] FOTOVOLTAIKA. *SVP SOLAR* [online]. Praha [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://www.svp-solar.cz/fotovoltaika/>
- [9] KUSALA, Jaroslav. Solární (fotovoltaické) články. *SOLÁRNÍ ENERGIE* [online]. [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [10] BECHNÍK, Bronislav. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. *TZB-info: Technická Zařízení Budov* [online]. Topinfo, 2014 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [11] SVARC, Jason. Most Efficient Solar Panels 2021. *CLEAN ENERGY REVIEWS* [online]. 2021 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- [12] MATAJS, Vladimír. Jak umístit na váš dům solární panely?. *Solární experti* [online]. 2015 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-umistit-na-dum-solarni-panely/>
- [13] SOLAR PANELS. *SOLARQUOTES* [online]. Peacock Media Group, c2009–2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.solarquotes.com.au/good-solar-guide/panels-guide/>
- [14] WAGNER, Vladimír. Větrné elektrárny včera, dnes a zítra. *OSEL* [online]. 2017 [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.osel.cz/9535-vetrne-elektrarny-vcera-dnes-a-zitra.html>

-
- [15] KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny V. – Malé větrné elektrárny v ČR. *TZB-info: Technická Zařízení Budov* [online]. Topinfo, 2016 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/14174-vetrne-elektrarny-v-male-vetrne-elektrarny-v-cr>
- [16] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR. *OEnergetice* [online]. 2016 [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>
- [17] RUSHWORTH, John. DIY ingenuity: Hydro Power in the Austrian Alps. *Victron Energy* [online]. 2017 [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.com/blog/2017/12/18/diy-ingenuity-hydro-power-in-the-austrian-alps/>
- [18] How to choose the best battery for a solar energy system. *EnergySage* [online]. 2020 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>
- [19] SVARC, Jason. Deep Cycle Batteries - Flooded, AGM, Gel & Lead Carbon. *CLEAN ENERGY REVIEWS* [online]. 2018 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/9/9/lead-acid-deep-cycle-batteries>
- [20] SVARC, Jason. Lead-Acid Vs Lithium-Ion Batteries. *CLEAN ENERGY REVIEWS* [online]. 2019 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/simpliphi-pylontech-narada-bae-lead-acid-battery>
- [21] SVARC, Jason. MPPT Solar Charge Controllers Explained. *CLEAN ENERGY REVIEWS* [online]. 2020 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers?rq=regulator>
- [22] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [23] HUDEC, Mojmír. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [24] The different types of solar thermal panel collectors. *The Renewable Energy Hub* [online]. 2018 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-thermal-information/the-different-types-of-solar-thermal-panel-collectors/>
- [25] O tepelných čerpadlech. *Schlieger* [online]. Praha [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/tepelna-cerpadla-princip/>
- [26] Kotle a kamna. *Česká peleta* [online]. c2010–2020 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/kotle-a-kamna/>
- [27] HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [28] ZÁKLADNÍ PRINCIPY. *Centrum pasivního domu* [online]. 2007 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/zakladni-principy/t134?chapterId=1654>
- [29] HANOUSEK, Miloš. *Voda pro chataře a zahrádkáře*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0400-5.
-

- [30] KRAUS, Michal. Kopaná nebo vrtaná studna? Která je pro vaše účely vhodnější?. *Zakra* [online]. 2020 [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/kopana-nebo-vrtana-studna-ktera-je-pro-vase-ucely-vhodnejsi/>
- [31] Filtry na vodu ze studny. *Filtry Vodní* [online]. c2010–2020 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.filtry-vodni.cz/filtry-podle-ucelu/filtry-na-vodu-ze-studny.html>
- [32] KRAUS, Michal. Likvidace odpadních vod u rodinného domu a chaty. *Zakra* [online]. 2019 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/likvidace-odpadnich-vod/>
- [33] BERÁNKOVÁ, Martina. Odpadní voda – odpad nebo poklad?. *TZB-info: Technická Zařízení Budov* [online]. Topinfo, 2017 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16057-odpadni-voda-odpad-nebo-poklad>
- [34] New EU energy labels applicable from 1 March 2021. *European Commission* [online]. Brussels, 2021 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_818
- [35] FOJT, Pavel. Solární elektrárna ostrovního domu. *OSTROVNÍ DŮM* [online]. Praha [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: http://www.ostrovnidum.cz/index.php?s=texty&o=fve_ostrovni_system
- [36] HANSLIAN, David, Jiří HOŠEK, Zuzana CHLÁDOVÁ a Lukáš POP. Větrné podmínky v České republice ve výšce 10 m nad povrchem I. *TZB-info: Technická Zařízení Budov* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>
- [37] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *European Commission* [online]. c2001-2021 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [38] Větrné podmínky ve výšce 10 m, podmínky pro malé větrné elektrárny. *Akademie věd České republiky* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>
- [39] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [40] REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. *TZB-info: Technická Zařízení Budov* [online]. Topinfo [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [41] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info: Technická Zařízení Budov* [online]. Topinfo [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>